講演⑤　浮体式洋上風力発電の開発

海洋開発研究領域　海洋資源利用研究グループ　＊大川　豊、矢後　清和

１．はじめに

産業革命以来の化石燃料の大量消費は、大気中の CO_2の高濃度化や酸性雨をもたらすなど、様々な地球環境問題を顕在化させている。また、世界の１次エネルギーの消費が今のままの割合で増大していくとすると、今世紀の半ばには化石燃料のみならず、ウランさえも枯渇問題が現実のものになるという予測もある[1)]。こうした中で、化石燃料への依存から脱却し、再生可能エネルギーを積極的に活用していこうという動きが世界的に起こっている。中でも CO_2排出比率が比較的低いとされる風力発電は、環境負荷が小さいエネルギー資源として注目されており、欧州を中心に大規模な導入が進められている。世界最大の風力発電導入国であるドイツでは、2003 年末で国内電力の５％を賄うまでになっており、デンマークでは 20%に達している。欧州では今や洋上に進出しており、広大な遠浅の海域を利用し、モノパイルやケーソンなどの着底基礎によって大規模なウィンドファームを展開している。

一方我が国でも、NEDO が導入促進事業を開始した 1997 年には２万 kW に満たなかったが、2003 年度には 67.7 万 kW と急成長している。しかし、これは世界全体の設備容量 4030 万 kW のわずか 1.7%にすぎない。総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会は、2010 年までに300万kWの導入を目標として打ち出している。しかしながら、これまでの開発により、騒音、景観、野鳥保護、道路建設など、新たな環境問題も発生しており、陸上での適地の減少から公園区域での規制緩和なども検討されているが、目標達成は容易でないと目されている。それ故、欧州と同じ様に、洋上への展開に移行せざるを得ないと思われる。

洋上では一般に風速変動が少なく、平均風速も陸上より大きいと言われている。風のエネルギーは風速の３乗に比例するので、わずかな風速の増加でもエネルギー取得に大きく効いてくる。また、大型風車の設置も容易になり、騒音、景観問題も緩和されやすい。一方、欠点としては設置コストの増加、メンテナンス費用の増加、送電コストの増加、耐久性への考慮が必要などがあげられる。また、漁業権との問題が生ずる可能性がある。

我が国では国土交通省が港湾区域への設置を推進しているが、実際に洋上に設置されたのは、北海道瀬棚町の瀬棚港東外防波堤の背後水域（沖合い約 700m、水深約 13m）での 600kW２基が今のところ唯一の例である。

日本の沿岸はわずかな離岸距離ですぐに深くなるところが多く、着底基礎による洋上設置にも限界があると考えられる。それ故、更に洋上へ展開する必要があるとすれば、浮体式にならざるを得ないと思われる。

本講演では、浮体式洋上風力発電研究の現状と、現在海上技術安全研究所が取り組んでいる浮体式洋上風力発電に関するプロジェクトについて報告する。

２．浮体式洋上風力発電の構想と研究

浮体式洋上風力発電の洋上への大規模な展開を想定し、いくつかの構想が発表され、研

究が行われている。

(財)日本海洋開発産業協会(JOIA，本年４月にエンジニアリング振興協会に吸収される)に設けられた「浮遊式洋上風力発電委員会」では、ボックスガーダーの組合せ構造、セミサブ型、スパー型など７種類の浮体構造について概念設計を行い、適用水深、風車のタイプと容量及び搭載台数などを決めて動揺解析や経済性に関する検討を行った[2)]。また、洋上からのエネルギー輸送に関する検討も行われ、想定したウィンドファームの規模に対するコスト試算や適正な規模の提案がなされた[3)]。

緒方等[4)]は、1000m×60m のメガフロートに 1.5MW 機を 10 基搭載した小ユニットを５ユニット繋いで 1km×4km の大ユニットとし、全体を１点係留とすることで風車列が自動的に風向きに正対する浮体を考えた。暴風時の係留には問題があるものの、発電コストと CO_2 削減効果等を検討した。更に、多行多列の風車の遮蔽影響に関する実験的研究を行っている[5)]。

村上[6),7)]は、主浮体とその周囲の複数個サブ浮体で構成される浅喫水構造に風車を１基搭載する Hitz 日立造船の「浮体型」コンセプトを提案した。サブ浮体に付けた減揺装置で波浪中の動揺を抑え、強風時の大傾斜はサブ浮体のバラスト水を移動制御することによって押さえられることを実験的に示した。

太田等[8)]は、5MW 風車３基をボックスガーダーで３角形に配置した浮体構造について、技術的成立性と耐波性能を検討した。機能面における優れた安定性は確保できたものの、主として構造強度面から、耐波性能の改善を必要とすることが示された。

澤井等[9)]は、コスト削減を狙い、大水深にも適用できる大型風車搭載のスパー型浮体を用いた洋上風力発電の成立性に関する研究を行った。スパー型浮体の応答解析プログラムを作成し、模型実験によりその妥当性を確かめた。

井上等[10)]は、ガーダー構造による３角形平面形状を基本として展開し、１浮体に５基程度の風車を搭載するＩＨＩのコンセプトを示した。波力、波漂流力などを可能な限り小さくするために、ガーダー部を没水させた半潜水型の構造である。FEM による振動モードの解析と、波浪中の挙動と構造応答を計測するための水槽実験について述べている。

矢後等[11)]は、ボックスガーダー格子型構造の浮体に５MW の水平軸風車３基を搭載する浮体ユニットを多数展開するコンセプトを示し、定常荷重による静的傾斜量および波浪動揺量の推定を行い、機能面でのクライテリアを十分満たしていることを示した。また、JOIA での検討と同様の経済性の検討を行い、既存の発電に匹敵するコストが実現できる可能性を示した。機能面のクライテリアの評価のために、風洞において模型風車を傾斜させたときの出力変化や、風車を強制動揺させた時に働く空力荷重等を測定している。

海外では、A. Henderson が浮体式に関して精力的に取り組んでいる。初期の研究では、没水型長大鋼管構造上に複数基の風車を搭載するコンセプトを提案[12)]していたが、現在は３～５カラムで支持されたセミサブ型と単純円筒型ポンツーンを主体に、動揺性能、係留設計、経済性の面から研究が進められている[13)]。欧州では、水深 50m前後の浅い海域も多くあることから、比較的浅水域に設置する浮体構造の研究にも取り組んでいる点が特徴とも言える。

以上のように、これまで行われてきた洋上風力発電に関する研究はそのほとんどが風車を支える浮体構造物に関するものである。風車そのものは陸上で使用されているものの極

くマイナーな改造で搭載可能と考えているようである。しかしながら、昨年９月の宮古島における風車の倒壊[14]や頻発する落雷被害等から、最近では陸上においても日本に適した風車の開発の必要性が叫ばれている。更に、大型化による重量増とブレード剛性の相対的低下がある。重心の高い風車と浮体の揺れによる相互作用でどのようなことが起こるかは、これからの研究課題である。浮体式洋上風力発電を実用化するためには、風車そのものも見直さなければならない時期に来ているのではないかと思われる。

３．海洋エネルギーの利用形態

海洋には風力、太陽光・熱を初めとして、波力、潮流力、潮汐力、海洋温度差など、様々な太陽起源の再生可能な自然エネルギーが存在し、それぞれについてエネルギーの回収方法が研究されている。それらのエネルギーは全て電気エネルギーに変換されるのが一般的である。変換された電気エネルギーは、沿岸に極く近い場合は送電ケーブルで陸上に送ればよいが、沖合になるとケーブル敷設コストが嵩み、ただでさえ既存エネルギーに比べてコスト高な自然エネルギーは、いよいよもって割に合わなくなる。また、一般に自然エネルギーは変動が激しく不安定という欠点を持っており、既存の電力系統からは嫌われている。そこで、電気エネルギーを別の形のエネルギーに変換して貯蔵するという考え方が出てくる。エネルギー貯蔵の問題は自然エネルギーに限らず、原子力発電に起因する夜間余剰電力の利用法でも、圧縮空気やフライホイールでのエネルギー貯蔵などが考えられている。

古くから考えられているもう一つの貯蔵法は、化学エネルギーでの貯蔵である。水の電気分解により水素を発生させ、更にメタノールやアンモニアに変換して貯蔵・利用することが考えられてきた。しかし現在では、脱化石燃料の旗頭として燃料電池の研究が急速に進み、２１世紀は水素エネルギー社会に移行するであろうという予測のもとに、水素のままで利用しようとするのが一般的になってきている。

我が国ではサンシャイン計画の一環として、平成５年度より WE-NET プロジェクトとして水素社会に対応するための研究が行われてきた。しかしながら、水素の貯蔵、輸送、利用法および安全性なども含めて、依然として技術的困難さは解決されておらず、水素社会の到来がどの程度先になるのかは誰にも見えていない状況である。

このような中で東北工業大学の橋本教授は、水素をメタンに変換して世界に供給しようという“グローバル CO_2 リサイクルシステム”構想を提唱している[1]。メタンは天然ガスの主成分であり、今使っている燃焼装置やインフラストラクチャーの大幅な変更なくして使用できるという利点がある。水素の安全で有効な貯蔵・輸送技術の先行きが見えていない現状では、エネルギー問題を解決する一つの方向であると思われる。

現在の社会の基幹エネルギーは化石燃料と原子力であるが、欧州での動向は風力を基幹エネルギー化しようという意思でもある。自然エネルギーを従来の基幹エネルギーの補助的なものと位置づける限り、地球環境やエネルギー枯渇問題の解決にはならない。我が国においても、風力を基幹エネルギー化出来るかという研究が、国立環境研究所で行われている[15]。その構想は、多数の風車を搭載した無係留の超大型浮体を日本の排他的経済水域内に多数浮かべ、水素を製造して国内で使用するというものである。2030 年には 20%程度のエネルギーを賄えるであろうという予測をしている。

４．浮体式洋上風力発電による代替燃料創出の研究

以上述べてきたような背景を踏まえ、洋上に展開した風力発電によって化学燃料を製造し、陸上に輸送して石油代替燃料として使用するシステムを考え、その技術的、社会的成立性を検証する研究を、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の平成１５年度「運輸分野における基礎的研究推進制度」に提案して採択された。平成 17 年度までの３年間、(財)日本造船技術センター、東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻、東海大学海洋学部海洋土木工学科および(株)三井造船昭島研究所と共同で研究を進めているので、その概要とこれまでの研究成果を紹介する。

4.1　洋上風力発電と燃料製造のコンセプト

JOIA で行われた送電コストの試算[3)]によると、沖合 10㎞、総発電量百万 KW という原発１基並の規模のウィンドファームで、建設費全体の 10～15%とされている。更に，既存電力系統に送る場合は自然エネルギー特有の不安定性が問題になる。これらの短所を解消す方法として、電力エネルギーを化学燃料に変換して利用するという選択がある。このことにより､生物生産の場である沿岸域を乱すことなく､もっと沖合に出ていくこともできる。本研究では水深 100～200mの海域に展開することを想定している。

本システムのコンセプトの概要を図-1 に示す。まず、風力発電によって得られた電力で海水を電気分解して水素を発生させる。洋上であるから海水を使うのは当然のように思われるが、従来の方法では同時に猛毒の塩素を発生してしまう。近年、東北大学の橋本教授(現東北工業大学)のグループは、塩素の発生を 100%防止できる電極を開発した[1)]。本システムでもこの技術を採用する。得られた水素は一時貯蔵され、CO_2と反応させてメタンに改質されるが、これに関しても橋本教授のグループが 99%以上の反応効率を持つ触媒を開発している。CO_2は火力発電所などで回収して液化し、専用船で運搬する。

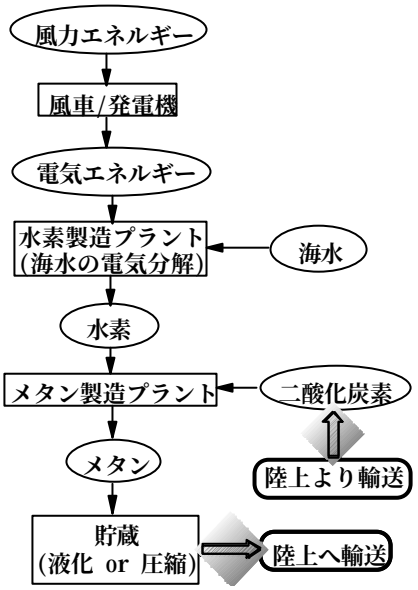

図-1 全体システムのコンセプト

メタンは天然ガスの主成分であり、既存の運搬技術が応用できる。CNG（圧縮ガス)、LNG（液化ガス)、ハイドレート化などの方式が考えられるが、製造運搬量の規模、液化等に関するエネルギー収支などを検討し、本研究の最終段階では最適な方法を決定する。陸上に運搬されたメタンは、既存の LNG 貯蔵施設に結ばれ供給される。

4.2　設置適地の選定と自然環境条件

洋上に風力発電装置を設置するに当たり、どのあたりが風況が良いのか、またその地点の自然環境条件はどうなのかということを、あらかじめ調べておく必要がある。日本周辺海域の風況予測に関してはいくつかの研究があるが、SSM/I 衛星と海岸線の風速に GIS を援用して作成された長井の風況データ[16)]を用いた。沿岸域 100㎞ の年平均風速の分布に等水深線を重ねた結果を図-2 に示す。採算性を考慮すると、年平均８m/s 以上の風速が必要と考えられる。これに水深 100～200mで、なおかつ浮体係留可能な底質を持つ海域を絞り

込むと、留萌沖、秋田沖、鹿島沖、御前崎沖、那覇・石垣沖などが候補として挙げられる。これらの海域の波浪条件を設定するに当たっては、海技研の気象・海象データベース「北太平洋の風と波」を使用した。浮体供用期間を 30 年として再現期間を 60 年に設定し、選定海域の波高波長頻度表を基に統計解析を行い、確率分布より設計波浪条件を設定した。

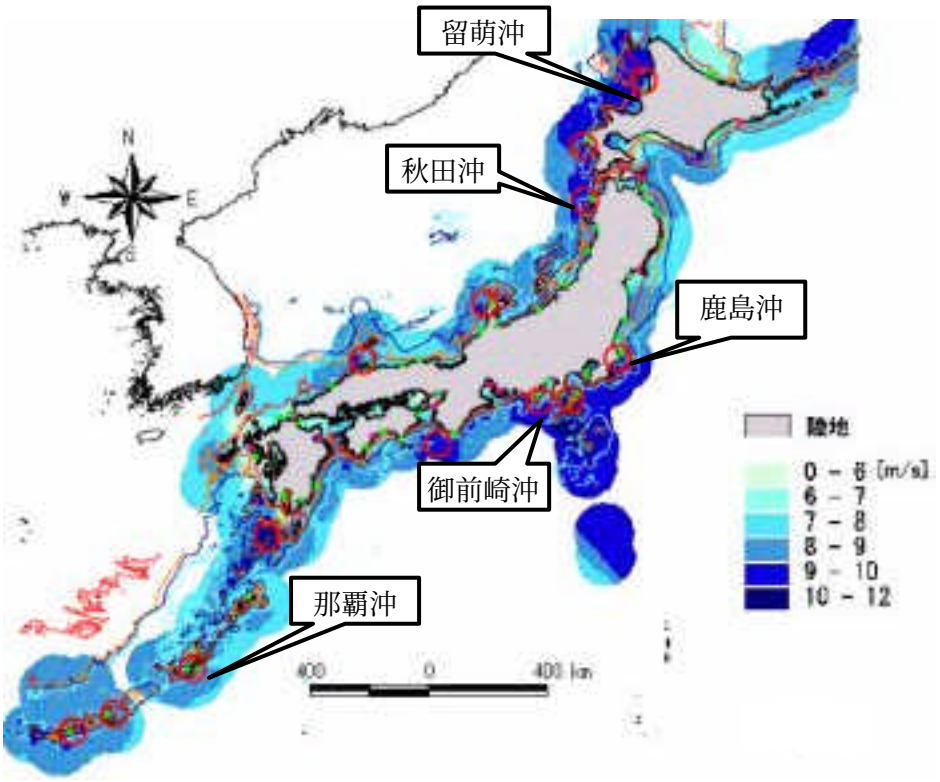

図-2 日本周辺海域の風況と等深線図

通常風車はある風速以上になると回転を停止させ、プロペラ回転面と風の方向が平行になるように向けて風車を保護する。この風速を Cut-out 風速といい、25m/s 程度に設定されている。これが発電稼働時の最大風速となる。それ故、稼働時と暴風停止時の区分けがあり、設計条件も異なる。風力発電装置の機能上の検討を行う場合は、Cut-out 風速時の条件を使用する。本システムを検討する上で設定した設計条件を表-1 にまとめて示す。

表-1　設計条件

	暴風時	発電稼働時
有義波周期	15sec	7.2～9.8sec
有義波高	12.5m	3.0～6.8m
風　速	50m/s (Max80m/s)	14～25m/s
流速	2.0knot	
水深	200m	

4.3　機能面におけるクライテリア [11)]

風力発電装置では、構造が破壊しないという安全性とは別に、発電に支障のない機能面でのクライテリアを決める必要がある。特に浮体では、定常外力による傾斜と波による動揺が問題になると考えられるため、これらに対する許容範囲を明らかにする必要がある。そのため、風車を傾斜および動揺させた時の特性変化を計測するための風洞模型試験を実施した。写真-1 に風洞試験の様子を示す。

図-3 は、傾斜角に対する発電出力の変化を、正対した時を 100%として示している。図中の実線は傾斜

写真-1　風車模型の風洞試験

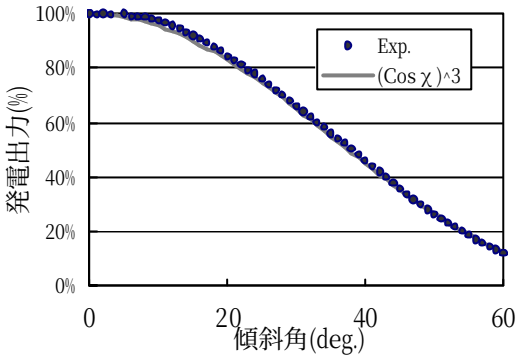

図-3　傾斜角に対する発電出力の変化

角の余弦の３乗を表すカーブであるが、ほぼ、このカーブで近似できる事がわかる。95%以上の発電力を維持しようとすれば、許容角は約 10°となる。但し、風車の回転軸は、撓みによる翼のタワーへの接触を避けるため５°程度の上向き角(Rotor tilt)をつけるのが一般的であり、これを考慮すれば浮体の許容傾斜角は５°となる。

4.4　要素技術課題に対する調査と研究

本システムを成立させるためには、風力発電装置および燃料製造プラントを搭載する浮体構造物とその係留システム、浮体搭載に適した風力発電装置の試設計、燃料製造プラントおよび貯蔵タンクの設計や設置法などが要素技術課題と考えられ、本研究に参加している各機関で分担して調査・研究を行っている。それらのうち、これまでに得られた主要な研究成果を紹介する。

4.4.1 浮体式風力発電ユニット

経済性を考えると、既存ドックで一体建造できる規模の浮体構造物に、スケールメリットのある大型風車を集約搭載することが望ましい。図-4 に示す様な、ボックスガーダーを格子状に組み合わせた浮体構造物に、現在風車メーカーが開発中の 5MW 級の風車３基を搭載したモデルを検討の出発点とし、構造強度、静的復元性および波浪中の動揺特性の検討を行った。5MW 級の風車では、風車ローターの直径は 120m程度になり、回転中心はデッキから 80m程の高さになる。風車の間隔は直径の３倍以上というのが陸上ウィンドファームの常識であるが、浮体式では多少効率は落ちてもトータルで数が多い方が経済的と考えられることから、1.5 倍とした。

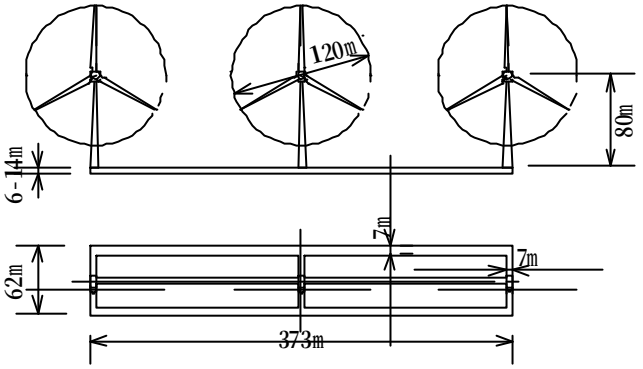

図-4　初期検討に用いた浮体モデル
（最終モデルは 186m 長×風車 2 基）

図-4 に示した浮体構造物の波浪中応答においては弾性影響が無視できないため、弾性応答計算により挙動および応力の評価を行った。計算は流体領域に圧力分布法を、構造には有限要素法曲げ板要素を用いてモデル化し、直接法を適用してまず規則波中の周波数応答関数を求める。本計算においては、風車質量および動的空力荷重を考慮した。動的空力荷重は等価線形減衰力の形で回転軸中心位置に加えた。この際の抗力係数は実機風車設計で用いられる Cd=0.8 を適用した。但し、比較計算の結果、風車慣性力の影響は多少認められたが、空力減衰力の影響は微少で、無視しうるものであった。このようにして求めた周波数応答関数と波スペクトルを用い、線形重ね合わせ法により動揺期待値を求める。波スペクトルは Bretschneider-Mitsuyasu 型で長波頂不規則波として扱い、波方向は 15°刻みで計算した。計算の結果、図-4 に示した初期モデルでは縦波中弾性応答が大きく、公称応力

での許容値とした 10kg/㎜²をクリアすることが出来なかった。そこで、全長を 1/2 とし、型深さも増加させて相対剛性を高めた結果、表-2 に示すように、型深さ 13～14mで成立する見通しがついた。よって現在では全長 187mで風車２基搭載として検討を進めている。

浮体幅と重心高さを変化させた時の風荷重による傾斜角の変化を図-5 に示す。浮体幅 60m以上であれば、重心高さによらず１°以内に収まる。実際の重心高さは約 10mである。評価に用いた風荷重を表-3 に示す。５MW クラスの風車は開発中であり、外力等の評価資料は公表されていないため、既存風車の資料を外捜して推定したものである。

風車基部における波浪動揺の期待値のうち、1/1000 期待値を設計条件および動揺モード毎に抽出した結果を表-4 に示す。これらの結果は、４．３で述べた許容角５°以内という条件を十分満たしている。但し、風車に対する動揺影響は、発電効率などの機能面からの評価のみでは不十分と考えている。今後、動揺によって風車に生ずる加速度などを考慮し、構造強度面からの評価を行う予定である。

この浮体式風力発電ユニットの係留は、大水深であることと施工性を考慮して、繊維索を用いたトート係留を考えている。アンカーは船上から投げ込み設置可能な新形式アンカーを採用する計画である。係留システムの安全性については今後検討する予定である。

このようなユニットを１海域に多数浮かべ、図-6 のような洋上ウィンドファームを形成するのが本システムの完成形態である。

4.4.2 浮体搭載に適した風力発電装置の基本概念設計

5MW 級の風力発電装置は、ナセル部とプロペラを合わせた重量が 320 トン程度になると推定される。この重量がデッキ上 80mの位置に置かれるため、浮体構造物の安定性や構造強度に少なからぬ悪影響を及ぼす可能性がある。そこで、

表-2　公称応力の 1/1000 期待値(kg/㎜²)

有義波高=12.5m, 波周期=15.0 秒, 縦波中					
型 深	6m	8m	10m	12m	14m
全長373m	23.3	24.5	24.9	24.7	24.0
全長187m	19.4	15.8	13.2	11.2	9.7

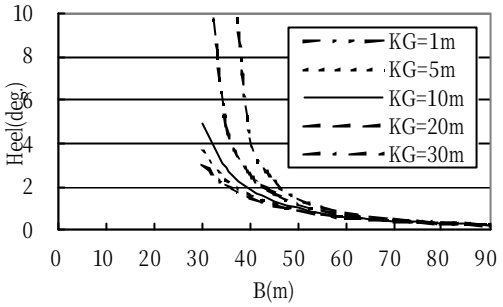

図-5　重心高および浮体幅による横傾斜の変化

表-3　５MW 風車に作用する風荷重

状態		風速	ナセル上水平荷重
暴風時	10分平均	50m/s	781kN
	瞬間最大	80m/s	2,000kN
発電稼働時	定格運転	14m/s	1,100kN
	稼働時最大	25m/s	1,200kN

表-4 風車基底部における動揺の 1/1000 期待値

風車基部における	横揺	縦揺	上下揺
定格発電	1.71°	0.27°	1.0m
発電停止	4.02°	0.83°	3.1m
異常時	4.69°	1.92°	7.0m

図-6　浮体式洋上ウィンドファーム構想図

油圧技術を用いたナセル重量軽減の可能性を検討した。

まず、油圧駆動風車に与えられる基本要件を次のように定めた。

・回転数：12～13rpm

・油圧装置入力段：7MW（油圧効率低下を考慮）

・寿命：稼働率 70%として 17 年間

検討に当たり、増速機を採用するか否かが課題となった。5MW 級風車では超低回転となるため、増速機無しの場合には吐出油量を増大させる必要があり、送り側の油圧ポンプが超大型かつ大重量となるため、目標達成が困難であることがわかった。増速機を採用した場合は、65 トンの増速機と 1.5 トンの高速油圧ポンプ６台の採用により、上部油圧装置重量を 100 トン以下に押さえることが出来た。付帯設備を考慮しても、既存仕様機の 50 トン程度の軽減が見込めることが示された。なお、既存仕様の風車と比較すると、現状では最終発電効率は 20～25%程度落ちると試算される。今後、更なる重量軽減と効率改善を検討する予定である。

4.4.3 新係留方式に関する調査 [17)]

ブラジル沖の石油開発で使われ始めている、海上から投下して設置できる引摺り式や自由落下方式の新形式アンカーと繊維索を用いた新係留方式を本システムに適用するために、繊維索の強度特性、日本沿岸の海底土質、新形式アンカーの適用性および把駐力解析法などに関する調査を行った。

代表的な４種類の繊維索の各種強度特性を比較し、係留索として評価をすると表-5 のようにまとめられる。これより、水中で使用する繊維係留索としてはポリエステル系しかないと言える。

表-5　繊維索の強度特性評価

繊維名	破断強度	破断伸び	湿強度	ヤング率	疲労特性
ポリアミド系（ナイロン）	○	◎	△低	○？	×低
ポリエステル系（テトロン）	○	○	○	○	○
ポリエチレン（ダイニーマ）	◎大	△小	○	△高	
アラミド系（ケブラー）	◎大	△小	○	△高	

日本沿岸の水深 100～200mの海底土質は粘性土、砂質土、砂泥混合が 75～90%と大半を占め、新形式アンカーの適用範囲が広いことがわかった。

新形式アンカーの設置法や適用条件などは表-6 のようにまとめられる。

表-6　新形式アンカーの適用条件

アンカー	適用地盤	アンカー船	容量の目安	撤去	課題
自由落下式（杭式）アンカー	粘性土	1艘	（引抜荷重） 直径 30“で300ｔ 42“で750ｔ	一部係留ラインのみ アンカー本体は地中に残置	クリープ 繰り返しによる土の劣化
VLA（引摺埋設平板）アンカー）	砂、粘性土	1艘 または2艘	（把駐力） 10m^{2}で550ｔ 13m^{2}で800ｔ	完全撤去 容易	同上 1艘設置における施工複雑

4.4.4 新形式アンカーに関する基礎実験[17)]

引摺り式平板アンカーの貫入と把駐力発揮の機構解明を目的とし、土槽において模型平板アンカーの引摺り貫入実験を行った。標準硅砂７号、木節粘土の２種類の乾燥土中で、図-7 に示すような状態で、長さの異なる平板アンカーの貫入状況(前後の深さ、摺動量、把駐力)を計測し、それぞれの土質に対する把駐力係数を求めた。一部湿潤状態でも実施した結果挙動が異なることが判明したため、飽和状態の実験に発展中である。計測値を解析した結果、最大貫入時の結果から得られた支持力係数を用いれば、貫入過程での抵抗力は十分推定可能であることがわかった。

垂直落下型アンカーについては、落下高さ、必要着底速度、設置精度などのアンカー施工条件や施工手順等を決定する基礎資料を得るため、海上技術安全研究所の深海水槽において、水中での落下時の挙動と貫入量を調べる実験を行った。

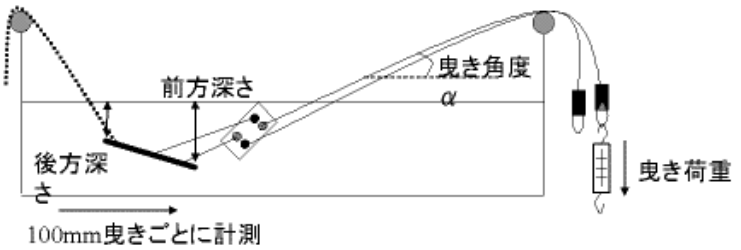

図-7　平板アンカーの貫入実験

これらの実験結果を基に、平板アンカーの把駐力解析プログラムおよび落下式アンカーの挙動解析プログラムを開発している。それらを基に、新形式アンカーの試設計を行う予定である。

4.4.5 代替燃料製造装置の調査と製造能力の推定[18)]

橋本教授のグループにより開発された、海水の電気分解による水素製造とメタン製造技術は、現在東北工業大学のテストプラントにおいて実用化への研究が進められている。写真-2 はその電解槽の外観、写真-3 はメタン製造装置の外観である。このプラントでの実績からメタン製造能力を推定し、浮体に搭載するプラントの規模と重量、必要なタンク類の容量と重量等を決定する。

写真-2　電解層の外観

写真-3　メタン製造装置外観

通常、海水の電気分解では陰極から水素が、陽極からは酸素と共に塩素が発生するが、酸化マンガンにモリブデン、タングステン等を添加した電極を用いることにより､100%塩素の発生を押さえられる。製造された水素のエネルギー量と極板に作用させた電力量の比を水素変換効率とすると、現在では 0.55 程度である。効率向上へ向けての研究はなおも続けられており、0.75 程度まで上げられると期待される。ちなみに、純水を用いた電気分解での効率は約 0.91 である。

次に、メタンの合成であるが、新開発のアモ

ルファス合金触媒により、水素と CO_2 を通すだけで 99%のメタンが合成可能である。ただし、この合成は発熱反応であるため、１モル当たり 253J の熱放散が生じ、水素のまま使用する場合に比べてエネルギー的には約 22%損失する。

以上の知見を基に、１ユニット 10MW の風力発電装置によるメタン製造量を試算する。風車の設備利用率は、陸上では 30%程度であるが、風況がよいといわれている洋上では 40%程度が期待できる。１ユニットでの年間発電量は 35,040MWh となり、1,161 トンのメタンが製造できる。これに基づき、プラントおよびタンク類の容量と重量を試算したところ、３ヶ月に１回の輸送頻度として、浮体構造物に十分収まることが確認された。

4.5　まとめと今後の課題

以上述べた本研究のこれまでの成果は、以下のようにまとめられる。

(1) 浮体式風力発電システム設置に適した海域を選定し、設計条件を設定した。
(2) 風車機能面から考えた浮体構造物の傾斜許容角を設定した。
(3) 暴風時の設計条件で構造強度的にも成立する浮体形状を見いだした。
(4) 提案浮体構造物の傾斜角、動揺角は、風車機能面で十分許容値を満たす。
(5) 油圧駆動方式による風車のナセル部重量低減効果を試算した。
(6) 繊維索と新形式アンカーに関する基礎資料が得られた。
(7) 化学燃料製造能力について試算し、浮体構造物に収まることを確認した。

また、今後の課題として以下のことが挙げられる。

(1) 提案浮体構造物の強度解析と構造最適化
(2) 動揺する風車各部の応力解析及び疲労強度解析
(3) 係留に関する安全性・施工方法の検討
(4) 油圧駆動風力発電装置の設計および効率改善
(5) 燃料製造効率と製造量推定の精緻化
(6) 効率的な燃料貯蔵・運搬システムの検討と提案
(7) 本システムのエネルギー収支、経済性、ＬＣＡの検討

５．おわりに

洋上風力発電の研究を始めるに至った背景、洋上風力発電研究の現状および現在取り組んでいる研究の成果を述べてきた。

ロシア政府が批准方針を表明したことで、京都議定書は来年発効する事がほぼ確実になった。我が国では90年比６％の温室効果ガスの削減義務に対し、2002年度では7.6%増え、差し引き 13%以上の削減が必要になっている。現実には排出権取引も含めて対応することになるであろうが、一刻も早く再生可能エネルギーの利用を増やす方策をとる必要がある。そのためにも、本研究で良い結果がでた暁には、実証プラントによる実海域実験を経て事業化に持っていければと考えている。

参考文献

1) 橋本功二、山崎倫昭、泉屋宏一、目黒眞作、佐々木昭仁、片桐洋、秋山英二、熊谷直和、幅崎浩樹、川嶋朝日、浅見勝彦：太陽エネルギーと海水電解を利用するグローバル二酸化炭素リサイクル：海洋開発ニュース、Vol.28, No.6、pp.3-8、2000 年 11 月

（社）日本海洋開発産業協会
2) (社)日本機械工業連合会、(社)日本海洋開発産業協会：平成１３年度 海洋資源・エネルギーを複合的に活用する沖合洋上風力発電システムの開発調査研究報告書、2002 年 3 月
3) (社)日本機械工業連合会、(社)日本海洋開発産業協会：平成１４年度 浮遊式風力発電基地の自然エネルギー(電力等)の最適な輸送技術に関する調査研究報告書、2003 年 3 月
4) 緒方龍、林竜也、影本浩:Floating Wind Farm の試計画、第１６回海洋工学シンポジウム、pp.549-556、2001 年 7 月、日本造船学会
5) 影本浩、緒方龍：日本近海における洋上風力発電のフィジビリティースタディ、洋上風力発電フォーラム、pp.131-138、2004 年 4 月、海上技術安全研究所
6) 村上光功：浮体型洋上風力発電システムについて、第１７回海洋工学シンポジウム、pp.135-142、2003 年 7 月、日本造船学会
7) 村上光功、高田美津雄、藤吉誠、堅多達也、永田修一、藤田孝：複数浮体型洋上風力発電システムについて、洋上風力発電フォーラム、pp.44-48、2004 年 4 月、海上技術安全研究所
8) 太田真、本田明弘、矢野州芳、中谷眞二、藤川卓爾：箱形浮体式洋上風力発電設備の耐波性能に関する検討、第１７回海洋工学シンポジウム、pp.115-118、2003 年 7 月
9) 澤井貴之、鈴木英之、岡徳昭、矢後清和：スパー型浮体を用いた沖合風力発電の成立性に関する研究、第１７回海洋工学シンポジウム、pp.119-126、2003 年 7 月
10) 井上憲一、宮部宏彰、上田聡、小林日出雄：半潜水浮体式洋上風力発電システムの開発、洋上風力発電フォーラム、pp.44-48、2004 年 4 月、海上技術安全研究所
11) 矢後清和、大川　豊、鈴木英之、澤井貴之：浮体式風力発電システムに関する基礎的検討、第１７回海洋工学シンポジウム、pp.127-134、2003 年 7 月
12) A. R. Henderson, M. H. Patel, J. Halliday, G. Watson: Multiple Turbine Floating Offshore Windfarms, European Wind Energy Conference, March 1999
13) Andrew R. Henderson et.al.：Floating Windfarms for Shallow offshore Sites, OWEMES Conference 2003, Naples
14) 石原孟、山口敦、藤野陽三：2003 年台風 14 号による風力発電設備の被害とシミュレーションによる強風の推定、土木学会誌、vol.88、pp.45-48、2003 年 12 月
15) 植弘崇嗣：洋上風力発電を利用した水素製造技術開発、洋上風力発電フォーラム、pp.90-95、2004 年 4 月、海上技術安全研究所
16) 長井浩、牛山泉、藤本聡：SSMI 衛星と沿岸データの風況解析による洋上風力発電の賦存量：太陽／風力エネルギー講演論文集、pp.573-576、2002 年
17) 関田欣治、吉成岳彦、鈴木英之、大川　豊：浮体式風力発電施設の係留のための平板型アンカーに関する貫入模型実験､海洋開発シンポジウム Vol.20､pp.1205-1210､2004 年 7 月、土木学会
18) 日根野元裕、高野宰、宮島省吾：浮体式風力発電用燃料製造システムの検討、日本造船学会講演会論文集第 3 号、pp.171-172、2004 年 5 月、日本造船学会